Uma das profissões mais antigas do mundo é a do ferreiro. Quem não se lembra de já ter visto, em filmes históricos ou de faroeste, um homem bem forte, todo suado, retirando com uma tenaz um pedaço de metal incandescente do fogo, colocando-o sobre uma bigorna e martelando com força para que o metal adquirisse a forma desejada? Podia ser uma espada, a parte de uma armadura, ou uma ferradura. Não importa o que fosse produzido, tudo dependia da força e da arte do homem, seu martelo e sua bigorna.

Hoje em dia, o martelo e a bigorna foram substituídos por máquinas e matrizes que permitem a produção constante de milhares de peças. Esse processo de conformação mecânica, tão antigo quanto o uso dos metais, é o forjamento.

Nesta aula, vamos estudar esse processo de fabricação. Fique ligado.

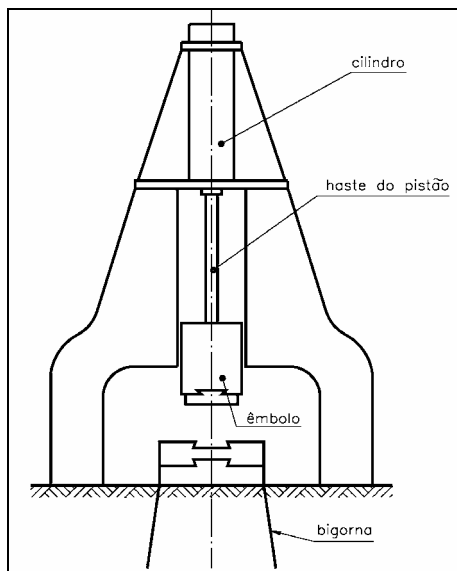
Martelando, martelando...

Entre os processos de conformação mecânica, já estudamos os processos de laminação, extrusão e trefilação. O que esses três processos têm em comum é o fato de não fornecerem produtos acabados, mas apenas matéria-prima para, a partir dela, fabricar-se outros produtos. Assim, a chapa obtida na laminação será transformada em partes da lataria dos automóveis. Os perfis de alumínio, obtidos pela extrusão, serão matéria-prima para a fabri-

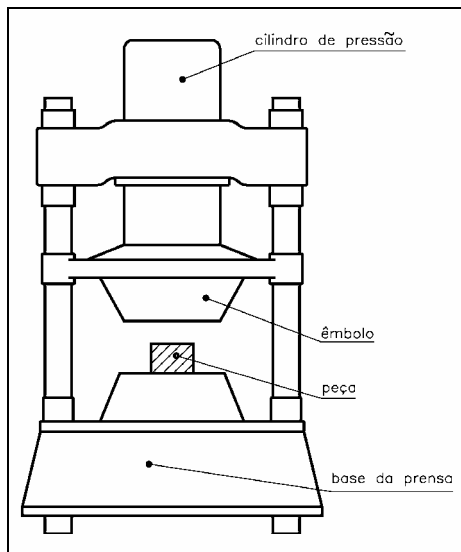
cação das janelas das nossas casas. Os fios trefilados são usados na produção de condutores elétricos.

O **forjamento**, um processo de conformação mecânica em que o material é deformado por martelamento ou prensagem, é empregado para a fabricação de produtos acabados ou semi-acabados de alta resistência mecânica, destinados a sofrer grandes esforços e solicitações em sua utilização.

Embora, hoje em dia, o forjamento seja feito por meio de equipamentos, o princípio do processo continua o mesmo: aplicação individual e intermitente de pressão, quer dizer, o velho martelamento, ou então, a prensagem.

O **forjamento por martelamento** é feito aplicando-se golpes rápidos e sucessivos no metal. Desse modo, a pressão máxima acontece quando o martelo toca o metal, decrescendo rapidamente de intensidade à medida que a energia do golpe é absorvida na deformação do material. O resultado é que o martelamento produz deformação principalmente nas camadas superficiais da peça, o que dá uma deformação irregular nas fibras do material. Pontas de eixo, virabrequins, discos de turbinas são exemplos de produtos forjados fabricados por martelamento.

No forjamento por martelamento são usados martelos de forja que aplicam golpes rápidos e sucessivos ao metal por meio de

uma massa de 200 a 3.000 kg que cai livremente ou é impulsionada de uma certa altura que varia entre 1 e 3,5 m.

Na **prensagem**, o metal fica sujeito à ação da força de compressão em baixa velocidade e a pressão atinge seu valor máximo pouco antes de ser retirada, de modo que as camadas mais profundas da estrutura do material são atingidas no processo de conformação. A deformação resultante é, então, mais regular do que a produzida pela ação dinâmica do martelamento. Palhetas de turbinas e forjados de liga leve são produtos fabricados por prensagem.

O forjamento por prensagem é realizado por prensas mecânicas ou hidráulicas. As prensas mecânicas, de curso limitado, são acionadas por eixos excêntricos e podem aplicar cargas entre 100 e 8.000 toneladas. As prensas hidráulicas podem ter um grande curso e são acionadas por pistões hidráulicos. Sua capacidade de aplicação de carga fica entre 300 e 50.000 toneladas. Elas são bem mais caras que as prensas mecânicas.

As operações de forjamento são realizadas a quente, em temperaturas superiores às de recristalização do metal. É importante que a peça seja aquecida uniformemente e em temperatura adequada. Esse aquecimento é feito em fornos de tamanhos e formatos variados, relacionados ao tipo de metal usado e de peças a serem produzidas e vão desde os fornos de câmara simples até

os fornos com controle específico de atmosfera e temperatura. Alguns metais não-ferrosos podem ser forjados a frio.

Pare! Estude! Responda!

Exercício

1. Complete as definições a seguir.

a) O forjamento é um processo de .... no qual o material é ....

b) O forjamento .... é feito aplicando-se golpes rápidos e sucessivos ao metal.

c) No forjamento .... , a força de compressão é aplicada em baixa velocidade de forma contínua.

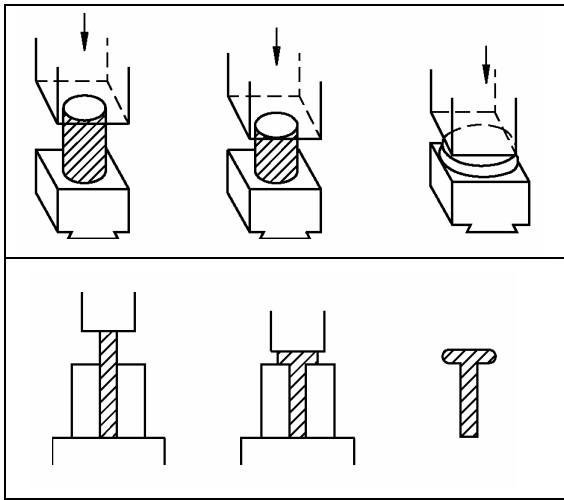
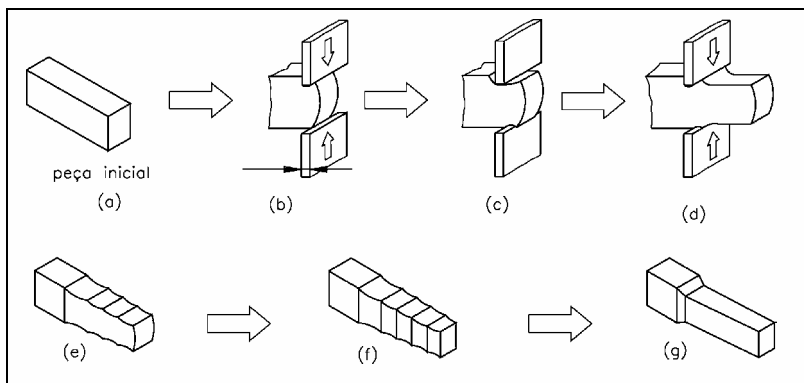
Matriz aberta ou fechada?

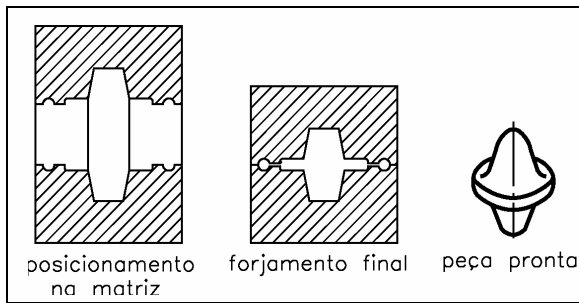
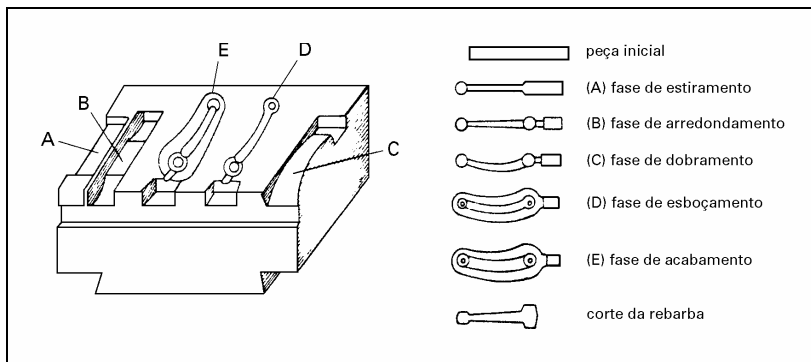
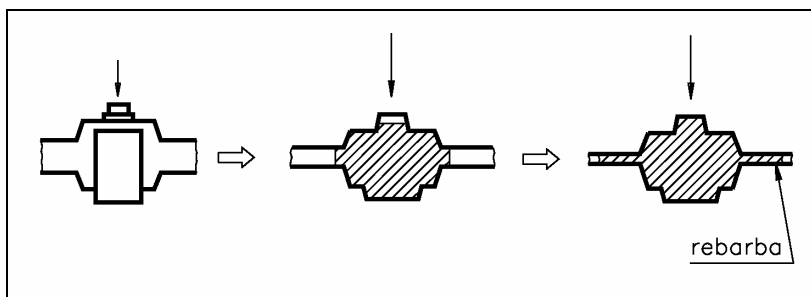
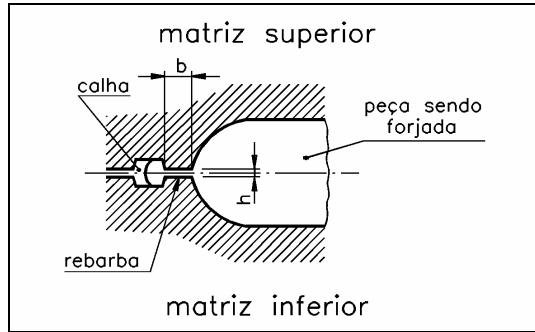
Toda a operação de forjamento precisa de uma matriz. É ela que ajuda a fornecer o formato final da peça forjada. E ajuda também a classificar os processos de forjamento, que podem ser:

- forjamento em matrizes abertas, ou forjamento livre;
- forjamento em matrizes fechadas.

As matrizes de forjamento são submetidas a altas tensões de compressão, altas solicitações térmicas e, ainda, a choques mecânicos. Devido a essas condições de trabalho, é necessário que essas matrizes apresentem alta dureza, elevada tenacidade, resistência à fadiga, alta resistência mecânica a quente e alta resistência ao desgaste. Por isso, elas são feitas, em sua maioria, de blocos de aços-liga forjados e tratadas termicamente. Quando as solicitações são ainda maiores, as matrizes são fabricadas com metal duro.

No forjamento livre, as matrizes têm geometria ou formatos bastante simples. Esse tipo de forjamento é usado quando o número de peças que se deseja produzir é pequeno e seu tamanho é

grande. É o caso de eixos de navios, turbinas, virabrequins e anéis de grande porte.

A operação de forjamento livre é realizada em várias etapas. Como exemplo, a ilustração mostra o estiramento de uma parte de uma barra. Observe a peça inicial (a) e o resultado final (e). A operação é iniciada com uma matriz de pequena largura. O estiramento acontece por meio de golpes sucessivos e avanços da barra (b, c, d, e). A barra é girada 90º e o processo repetido (f). Para obter o acabamento mostrado em g, as matrizes são trocadas por outras de maior largura.

No forjamento em matrizes fechadas, o metal adquire o formato da cavidade esculpida na matriz e, por causa disso, há forte restrição ao escoamento do material para as laterais. Essa matriz é construída em duas metades: a metade de baixo fica presa à bigorna e nela é colocado o metal aquecido. A outra metade está presa ao martelo (ou à parte superior da prensa) que cai sobre a

metade inferior, fazendo o material escoar e preencher a cavidade da matriz.

Uma peça forjada acabada geralmente não é conformada em um só golpe, porque tanto a direção quanto a extensão na qual o metal pode escoar são pequenas. Por isso, para a confecção de uma única peça são necessárias várias matrizes com cavidades correspondentes aos formatos intermediários que o produto vai adquirindo durante o processo de fabricação.

A matriz apresenta uma cavidade extra em sua periferia e que tem o objetivo de conter o excesso de material necessário para garantir o total preenchimento da matriz durante o forjamento. Esse excesso de material chama-se rebarba e deve ser retirado da peça em uma operação posterior de corte.

A rebarba é um dos problemas do forjamento por matriz fechada. Para minimizá-lo, as matrizes apresentam calhas para evitar que a rebarba seja muito grande.

Para peças não muito complexas, são aplicadas as seguintes etapas no forjamento em matriz fechada:

1. Corte do blank, ou seja, do pedaço de metal em barra no tamanho necessário.
2. Aquecimento - realizado em fornos.
3. Forjamento intermediário, realizado somente quando é difícil a conformação em uma única etapa.
4. Forjamento final - feito em matriz, já com as dimensões finais da peça.
5. Tratamento térmico - para a remoção das tensões, homogeneização da estrutura, melhoria da usinabilidade e das propriedades mecânicas.

É hora de estudar um pouco. Vamos lá?

Pare! Estude! Responda!

Exercícios

2. Relacione as características listadas com o tipo de forjamento.

Coluna A

a) ( ) Matrizes de geometria simples.

b) ( ) Peças de tamanho grande como eixos de navios.

c) ( ) Utiliza uma matriz na qual está esculpida a cavidade da peça.

d) ( ) Necessita de várias matrizes com formatos intermediários.

e) ( ) As matrizes apresentam calhas para conter as rebarbas.

Coluna B

1. Forjamento livre

2. Forjamento em matriz fechada

3. Descreva, com suas palavras, as etapas do forjamento em matriz fechada.

Defeitos dos produtos forjados

Os produtos forjados também apresentam defeitos típicos. Eles são:

- Falta de redução - caracteriza-se pela penetração incompleta do metal na cavidade da ferramenta. Isso altera o formato da peça e acontece quando são usados golpes rápidos e leves do martelo.
- Trincas superficiais - causadas por trabalho excessivo na periferia da peça em temperatura baixa, ou por alguma fragilidade a quente.
- Trincas nas rebarbas - causadas pela presença de impurezas nos metais ou porque as rebarbas são pequenas. Elas se iniciam nas rebarbas e podem penetrar na peça durante a operação de rebarbação.
- Trincas internas - originam-se no interior da peça, como conseqüência de tensões originadas por grandes deformações.
- Gotas frias - são descontinuidades originadas pela dobra de superfícies, sem a ocorrência de soldagem. Elas são causadas por fluxos anormais de material quente dentro das matrizes, incrustações de rebarbas, colocação inadequada do material na matriz.
- Incrustações de óxidos - causadas pela camada de óxidos que se formam durante o aquecimento. Essas incrustações normalmente se desprendem mas, ocasionalmente, podem ficar presas nas peças.
- Descarbonetação - caracteriza-se pela perda de carbono na superfície do aço, causada pelo aquecimento do metal.
- Queima - gases oxidantes penetram nos limites dos contornos dos grãos, formando películas de óxidos. Ela é causada pelo aquecimento próximo ao ponto de fusão.

O que você estudou nesta lição é só um começo bem básico. Um profissional do século XXI não se contenta com pouco. Por isso, se você quiser saber mais, vá a uma biblioteca e pesquise um pouco mais. Vai valer a pena!

Pare! Estude! Responda!

Exercícios

4. Uma peça forjada apresenta uma rachadura próxima à periferia da peça na região da rebarba. Na sua opinião, qual a possível causa desse defeito?

5. Relacione a característica com o respectivo processo de forjamento.

Coluna A

a) ( ) Golpes rápidos e sucessivos.
b) ( ) A deformação atinge as camadas mais profundas do material.
c) ( ) A deformação das fibras do material é mais regular.
d) ( ) A pressão máxima ocorre quando a matriz toca o metal.
e) ( ) A pressão máxima é atingida pouco antes da carga ser retirada.
f) ( ) A deformação é maior nas camadas superficiais da peça.
g) ( ) A deformação das fibras do material é irregular.

Coluna B

1. Forjamento por martelamento.
2. Forjamento por prensagem.

Gabarito

1. a) Conformação mecânica, deformado.
b) Por martelamento.
c) Por prensagem.

2. a) (1) **b)** (1) **c)** (2) **d)** (2) **e)** (2)

3. a) 1 - O metal é cortado no tamanho necessário; 2 - Em seguida é aquecido em forno; 3 - Faz-se o forjamento intermediário se a peça for de difícil conformabilidade; 4 - Faz-se o forjamento final, no qual a peça já sai com o formato e medida finais; 5 - Faz-se o tratamento térmico para melhorar a condição do produto forjado.

4. a) Presença de impurezas no metal ou rebarbas pequenas.

5. a) (1) **b)** (2) **c)** (2) **d)** (1) **e)** (2) **f)** (1) **g)** (1)